高原隆明*・千原光雄**： 管状藻クビレミドロの分類上の位置

Takaaki KOBARA* & Mitsuo CHIHARA**: On the taxonomic position of a siphonous alga *Pseudodichotomosiphon constrictus*

クビレミドロ *Pseudodichotomosiphon constrictus* (Yamada) Yamada は沖縄の潮間帯の砂泥地に生育する緑色の管状藻で，最初 Yamada (1932) により *Vaucheria constricta* の名で記載された。後に Yamada (1934) は，この藻が 1）藻体の細胞糸にくびれをもつ，2）藻体は直立部と仮根部をもつ，3）細胞糸は二叉分枝をするなど *Dichotomosiphon*（チョウチンミドロ属）に類似するとして *Vaucheria* から分離し，新たに単一タイプ属の *Pseudodichotomosiphon*（クビレミドロ属）を設立した。後に山岸 (1964) は *Vaucheria* のなかにも藻体が直立して仮根部をもつ *V. mayyanadensis* などの種があること，分枝は *Dichotomosiphon* にみられる規則正しい二叉性でなく，主枝の側面から出る分枝であること，生殖器官の形態は *Vaucheria* の Woroninia 節の特徴をもつことなどを指摘し，*Pseudodichotomosiphon* の独立性に疑問を投げかけた。しかし，当時はクビレミドロの生殖細胞の形態や光合成色素の組成などが調べられていなかったうえ，この藻の細胞壁多糖が緑藻のチョウチンミドロのそれと同様に，キシランと報告されていた (Miwa et al. 1961) こともあって，この藻が黄緑藻綱 (Xanthophyceae) に所属するのか，それとも緑藻綱 (Chlorophyceae) に所属するのか明確でなかった。

著者らはさきにクビレミドロの細胞糸の微細構造 (Hori et al. 1979)，光合成色素組成 (Yokohama et al. 1980)，光顕による精子の形態 (Kobara & Chihara 1984) および細胞壁多糖（前田ら 1984) について調査を行い，クビレミドロは黄緑藻綱に所属させるべきことを考察した。その後クビレミドロの精子を電顕で観察し，この考察をさらに支持する結果を得た。

これらの一連の研究から，クビレミドロには緑藻綱の性質は全く認められず，黄緑藻綱の性質をもつことがわかった。したがって，現時点での *Pseudodichotomosiphon* と *Vaucheria* の相違は糸状藻体のくびれの有無のみである。そこでこの形質が遺伝的に安定したものであるかどうかを確かめるために，天然から得た藻体を人為的に制御した条件下で培養を行い，形質の分類学上の有効性の検討を行った。以下に観察結果と考察

---

* 専修大学 生物学教室. Biological Laboratory, Senshu University, Higashi-mita, Tama-ku, Kawasaki 214.

** 筑波大学 生物科学系. Institute of Biological Sciences, University of Tsukuba, Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305.

を述べる。

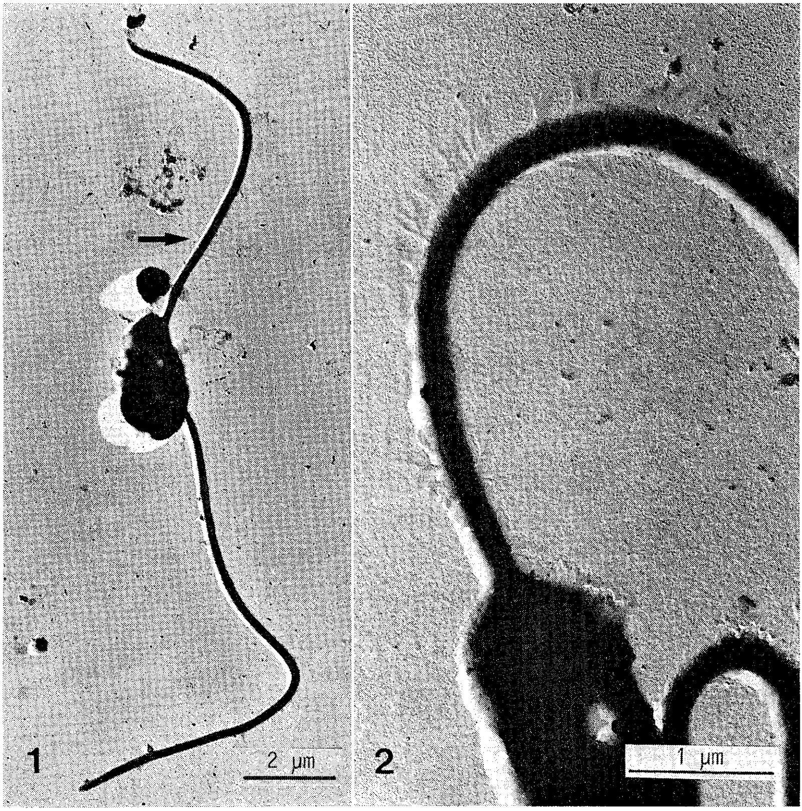
材料と方法　精子の電顕観察に用いた藻体は1985年4月に，培養と観察に用いた藻体は1986年3月と1987年4月に，いずれも沖縄本島南部の知念海岸で採取した。

電顕観察用の試料の作成方法は次のようである。精子を放出させ，この懸濁液をワックスのプレート上に一滴落し，四酸化オスミウムの蒸気に約5秒間さらして固定した。次にこの液を支持膜の付いたメッシュの上に乗せて風乾し，乾燥後メッシュを蒸留水で洗浄し，後に試料を白金パラジウムでシャドウイングした。

藻体の培養条件は次のようである。温度 23°C，14 時間/10時間明暗期，光源は白色蛍光管，照度は約 4,000 lux。培養液には Provasoli (1966) の強化海水培地を用い，さらにケイ藻の増殖を防止するためこれに培養液 1 *l* あたり 1 mg の酸化ゲルマニウムを添加した。

観察　精子の形態. クビレミドロの精子の direct preparation による電顕像を Fig. 1 に示す。精子細胞は前方に伸びる短い鞭毛と後方に伸びる長い鞭毛をもつ。電顕による計測では短鞭毛は 7.5〜9.0 μm，長鞭毛は 10.0〜12.5 μm である。この値は光顕による測定結果 (Kobara & Chihara 1984) よりやや長い。前方に伸びる短鞭毛はその両側面に小毛をもつ羽型鞭毛であるのに対して，後方に伸びる長鞭毛は小毛を欠くむち型である(Fig. 1,2)。われわれの試料では短鞭毛の小毛の多くが脱落していたが，これは四酸化オスミウムの蒸気による固定が十分でなかったためと思われる。また，小毛の先端に存在するはずの微細な小毛 (terminal filaments) がみられないことも固定を含む試料の作成方法に問題があるものと思われる。いずれにせよ前方に伸びる短鞭毛が羽型構造で後方に伸びる長い鞭毛がむち型構造であることは，さきに Koch (1951) が *Vaucheria pachyderma*, Moestrup (1970) が *V. sescuplicaria* でそれぞれ観察した結果と基本的に同じである。

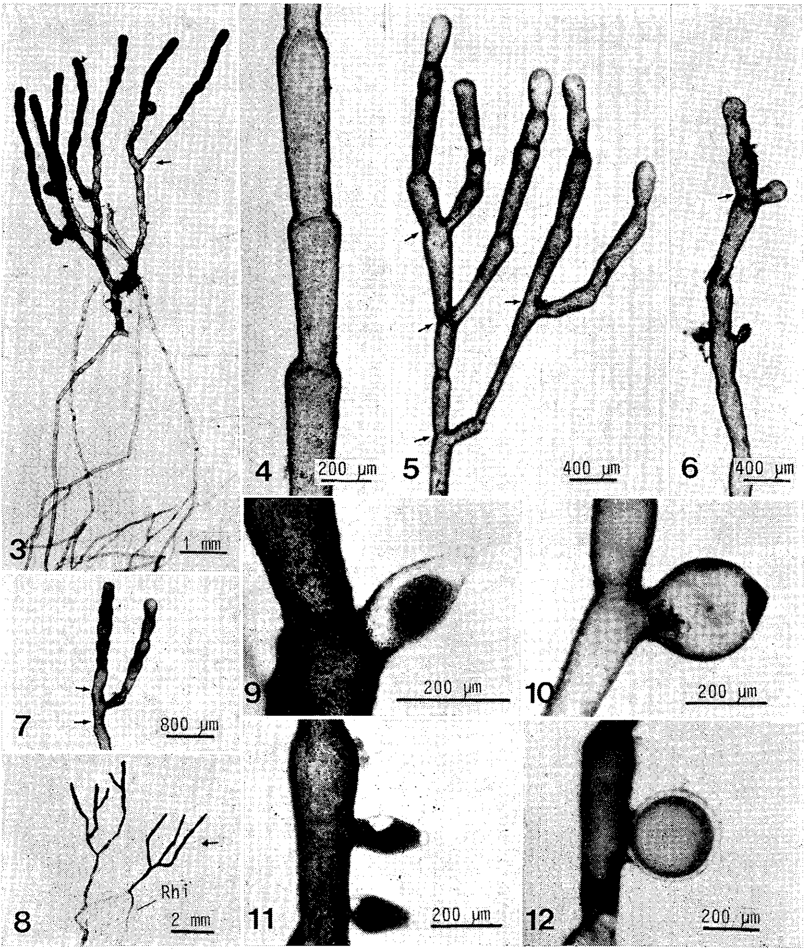
藻体のくびれと分枝. 天然から得た藻体のくびれは直立した太い細胞糸にみられ，色素体を欠く褐色の細い仮根部にはない(Fig. 3)。細胞糸のくびれの位置には規則性がなく，ある部分ではほぼ等間隔であるが，別の部分では不規則な間隔であったりする。くびれとくびれの間隔は 150〜1,000 μm の範囲であるが，多くは 250〜600 μm である。このくびれは Rieth (1970) が *Vaucheria* の1種の培養株で報告した“pseudo-undulata” 型，つまり樽を積み重ねたようなくびれとは異なる。クビレミドロのくびれとくびれの部分は，Fig. 4 に示すように，下部が細く，上部にかけてしだいに太く，全体として棍棒状を呈する。この形態は細胞糸の先端部においても同様で，その頂端は Fig. 5 にみられるように丸く終る。このようなくびれの形態から，クビレミドロの細胞糸は先端の太さを増しながら棍棒状に伸長するが，ある時点で細胞糸頂端の半球形部の中心部から新たな伸長が始まり，その部分も上記と同様な伸長により棍棒状になると推測され，さらにこのような伸長様式を繰り返すことによりくびれができるものと判断される。



Figs. 1 & 2. Shadowcast direct preparations of spermatozoids of *Pseudodichotomosiphon constrictus*. 1. A whole cell, possessing a short anterior flagellum and a long posterior one. Note fine hairs (arrow) on the anterior flagellum. 2. Higher magnification, showing two lateral rows of fine hairs on the surface of the anterior flagellum.

この推測は後述の培養結果から裏づけられた。

Fig. 5 に生殖器官を形成していない若い小形の藻体の一部を示す。分枝はくびれ直下に起源することがわかる。さらに分枝を形成し始めたばかりの細胞糸(Fig. 6)からわかるように，分枝は比較的先端に近い位置のくびれ直下が斜め上方に突出して側面的に形成される。このようにクビレミドロの分枝の多くはくびれの直下に起源するが，くびれとくびれの中間部分に起源するものもある(Fig. 7)。また分枝の伸長に伴い，分枝位置より上部の細胞糸が分枝面と反対側の方向に傾く傾向がある。Fig. 3 はその一例を示したもので，上記の過程を経た結果，矢印の細胞糸のようにクビレミドロの分枝はあたかも



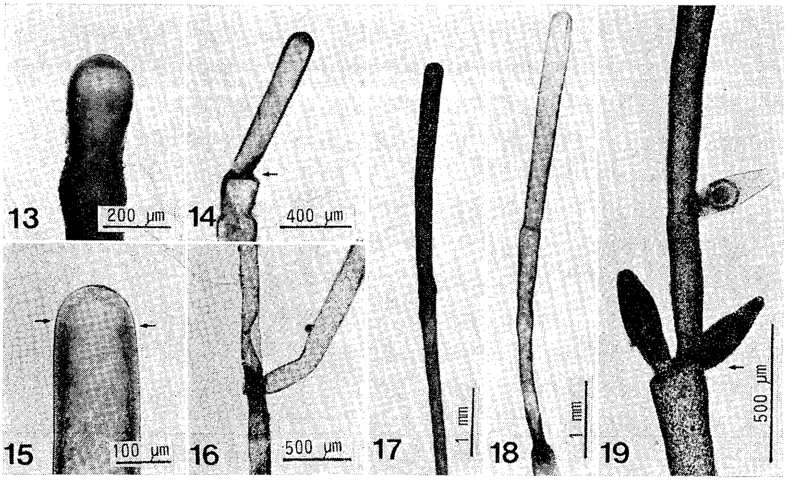
Figs. 3–12. *P. constrictus* collected in nature. 3. Thallus consisting of erect and thick filaments with constrictions and slender rhizoidal filaments without constriction. 4. Part of an erect filament, showing clavate portions between constrictions. 5. Part of young thallus, showing ramifications. Each ramification emanates from under the constriction. 6. Apical part of the erect filament, showing a new ramification developing laterally from the filament. 7. Ramification formed between constrictions. 8. New thallus (arrow) developed vegetatively from the filament. 9. Antheridium produced just under a constriction. 10. Oogonium produced just under a constriction. 11. Antheridium produced between constrictions. 12. Oogonium produced between constrictions.

正しい二叉分枝をするかのように見える。

クビレミドロの栄養細胞は側方に管状の細胞糸を分枝する点で *Vaucheria* と共通の性質をもつが，栄養繁殖の様式にも共通点が見られる。天然における観察では，2月中旬にはクビレミドロの細胞糸塊は直径 0.5〜1.0 cm のものが多いが，5月下旬には細胞糸の数が増加し，塊状部の直径が 1.5〜3.0 cm のものが多くなる。これは Fig. 8 に示すように，分枝細胞糸の多くが藻体の塊の外方へ伸長するからである。*Vaucheria* では藻体の塊がマット状に大きく広がるものが多いが，その伸長の方法はクビレミドロと基本的に同じといえる。

有性生殖器官．生卵器と造精器は細胞糸の側方に形成される。生卵器は無柄で球形，先端に突起 (beak) をもつ。造精器は無柄でボート形，精子放出後先端に円形の開口部をもつ。これらの諸特徴は，山岸 (1964) が指摘したように *Vaucheria* の Woroninia 節のそれと同一である。クビレミドロの生殖器官は，分枝と同様にくびれ直下に形成されることが多い(Fig. 9, 10)。しかし，くびれとくびれの中間部に形成される生殖器官もある (Fig. 11, 12)。

藻体の培養．天然から得た藻体の細胞糸の先端部を切断し，その断片から単藻培養を



Figs. 13-19. *P. constrictus* grown in culture. 13. Apical portion of a filament fresh from culture. 14. Clavate apical portion grown in culture. Arrow shows where the tip of the filament was when collected in nature. 15. Apical portion of a growing filament. Note apical zone (upper part from two arrows) containing no chloroplasts. 16. Ramification formed laterally from the filament without constriction. 17. Long clavate filament without constriction. 18, Long clavate filament with a constriction. 19. Three antheridia produced in culture. The arrow shows where the tip of the filament was when collected in nature.

試みた。約30日後，それらはくびれをもたない粗に分枝した 2〜3 cm の長さの匍匐した藻体に成長したが，生殖器官を形成させることができなかった。次に，天然から得た藻体をよく洗浄し，そのままの状態で培養を行なった。採取後約12時間後に培養を開始したが，その時点ではすでに細胞糸頂端の中心部がごくわずかに突出していた(Fig. 13)。突出部の原形質層は他の部分よりもやや厚く，しかも色素体を欠くために白色を呈した。培養開始36時間後には突出部は急速に伸長し，700〜1,000 μm に達した(Fig. 14)。天然から得た細胞糸（矢印より下部）と培養中に伸長した細胞糸(矢印より上部)との境界はくびれとなった。伸長しつつある細胞糸 (Fig. 15) の先端部(矢印より上部)はやはり色素体を欠くために白色を呈した。この部分は Ott & Brown (1974) が *Vaucheria dillwynii* で観察した“apical zone”に相当するものと思われる。細胞糸には分枝の形成も観察されたが，その部位には特別なくびれが存在しないもの(Fig. 16)と存在するものとがあった。培養開始6日後，新たに伸長した細胞糸の形状は長い棍棒状を呈した (Fig. 17)。この部位には多くはくびれが形成されなかったが，まれにくびれが形成されるものもあった (Fig. 18)。その場合も細胞糸頂端の中心部から新たな伸長が始まることによってくびれが形成された。10日後には生殖器官が生じたが，それらは天然から得た時の藻体の亜頂端部に相当する部位や新たに伸長してできたくびれをもたない細胞糸に形成された(Fig. 19)。

考察　細胞糸の微細構造 (Hori et al. 1979)，光合成色素組成 (Yokohama et al. 1980)，光顕による精子の形態 (Kobara & Chihara 1984) および細胞壁多糖（前田ら 1984）の研究結果から，さきに著者らはクビレミドロを黄緑藻綱のフシナシミドロ目 (Vaucheriales) に所属させるべきと考察した。黄緑藻綱のフシナシミドロ目には *Vaucheria* の他に，*Asterosiphon*, *Phyllosiphon*, *Botrydium* などがある。これらの属はいずれも特徴的な栄養細胞の形態と生殖様式をもつ。クビレミドロは栄養体と生殖器官の形態はともに *Vaucheria* によく類似する。わずかに異る点は細胞糸が棍棒状を呈することとくびれをもつことである。しかし，前述の観察結果からもわかるように，それらは生育条件によりかなり変化するものであり，種の階級の識別形質としては有用と思われるが，特に属を設けるに値する重要な形質とは思われない。なお，クビレミドロの生殖器官の形態は特に *Vaucheria* の Woroninia 節のそれと基本的には全く同一である。著者らはこれまでの知見に今回得られた観察結果を併せて考察した結果，クビレミドロは *Vaucheria* の Woroninia 節に所属させるのが妥当であると結論する。Rieth (1980) はすでに著者らと同じ結論を示しているが，形態的特性についての論議は全くしていない。

クビレミドロの分類上の位置および学名は下記のようになる。

Class Xanthophyceae　黄緑藻綱
Order Vaucheriales　フシナシミドロ目

Family Vaucheriaceae フシナシミドロ科

Genus *Vaucheria* A.P. de Candolle, Bull. Sci. Philom. Paris **3**: 20. 1801. フシナシミドロ属

Syn. *Pseudodichotomosiphon* Yamada, J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ., Ser. 5. **3**: 83. 1934.

Species *Vaucheria constricta* Yamada, J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ., Ser. 5. **1**: 110. 1932. クビレミドロ

Syn *Pseudodichotomosiphon constrictus* (Yamada) Yamada, J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ., Ser. 5. **3**: 83. 1934.

フシナシミドロ属の分類について有益な助言を下さった日本大学農獣医学部の山岸高旺先生に感謝申しあげる。

Summary

Spermatozoids of *Pseudodichotomosiphon constrictus* possess a short anterior flagellum with two lateral rows of fine hairs and a long posterior flagellum without any ornamentation. This and some other results show that *P. constrictus* belongs to the Xanthophyceae. At present, the only morphological difference recognized between *Pseudodichotomosiphon* and *Vaucheria* is the presence or abscence of constriction on the thallus. Here, we examine the character of the constrictions. The constrictions are most likely formed by repetitions of growth; that is, new growth starts from the central part of the clavate head of the filament and, later, the growing part becomes clavate again. The ramifications and the reproductive organs develop mostly from just under the constrictions, but some are produced between constrictions. Under our culture conditions, most of the growing parts developed into long clavate filaments without constriction. These filaments had a capacity to produce both ramifications and reproductive organs. The reproductive organ of this alga is identical with that of species belonging to the section Woroninia in *Vaucheria* (as already pointed out by Yamagishi, 1964). In the Vaucheriales of the Xanthophyceae, the clavate filament and the constrictions formed by the repetition of the growth pattern seem not so important character for establishing an autonomous genus, especially in view of the morphological specialization of both vegetative thallus and reproductive organs. *Pseudodichotomosiphon constrictus* should thus be treated under

the name of *Vaucheria constricta* as in the original description (Yamada 1932) and be placed in the section Woroninia in *Vaucheria*.

引用文献

De Candolle, A.P. 1801. Extrait d'un rapport sur les Conferves, fait á la Société philomatique par le C. Decandolle. Bull. Sci. Philom. III. No. 51: 17–21. Paris. Hori, T., T. Kobara, & M. Chihara 1979. Electron microscope observations on *Pseudodichotomosiphon constrictus* with special reference to the systematic position of the genus. Jap. J. Phycol. **27**: 183–191. Kobara, T. & M. Chihara 1984. Spermatozoids of *Pseudodichotomosiphon constrictus* with special reference to the systematic position of the genus. Journ. Jap. Bot. **59**: 20–25. Koch, W.J. Ellisha Mit. Sci. Soc. **67**: 123–131. 前田昌徹・福士由紀子・原田直樹・高原隆明・千原光雄 1984. 管状藻クビレミドロの細胞壁多糖と属の分類上の位置について. 藻類 **33**: 87–88. Miwa, T., Y. Iriki, & T. Suzuki 1961. Mannan and xylan as essential cell wall constituents of some siphonous green algae. Coll. Int. C.N.R.S., **103**: 135–144. Moestrup, Ø. 1970. On the fine structure of the spermatozoids of *Vaucheria sescuplicaria* and on the later stages of spermatogenesis. J. Mar. Biol. Ass. U.K. **50**: 513–523. Ott, D.W. & R.M. Brown, Jr. Developmental cytology of the genus *Vaucheria*. I. Organization of the vegetative filament. Br. Phycol. J. **9**: 111–126. Provasoli, L. 1966. Media and prospectus for the cultivation of marine algae. *In* Culture and Collection of Algae (Watanabe, A. & A. Hattori, eds.), Proc. U.S.-Japan Conf., Hakone, 63–75. Rieth, A. 1968. Beiträge zur Kenntnis der Vaucheriaceen XIII. Über "undulierte" und "pseudo-undulierte" Thalli bei *Vaucheria*. *In* Die Kulturpflanze. Akademie-Verlag, Berlin. ——— 1980. Xanthophyceae 2 Teil. *In* Süsswasser-flora von Mitteleuropa (Pascher, A. ed.). Gustav Fischer Verlag, New York. Yamada, Y. 1932. Note on some Japanese algae III. J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ. Ser. 5. **1**: 109–123. ——— 1934. The marine Chlorophyceae from Ryukyu. J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ. Ser. 5. **3**: 33–88. 山岸高旺 1964. 二三の沖縄産管状藻について. 植物研究雑誌 **39**: 82–90. Yokohama. Y., T. Kobara & M. Chihara 1980. Plastid pigments of *Pseudodichotomosiphon constrictus* with special reference to the systematic position of the genus. Jap. J. Phycol. **28**: 75–79.